

应用地球物理方法寻找隐伏矿床*

刘光鼎 郝天珧

(中国科学院地球物理研究所, 北京 100101)

摘 要

在金属矿勘探的发展过程中, 地球物理的重要作用逐渐崭露头角。随着地球物理认识的不断深化, 特别是地球物理勘探方法、仪器设备以及资料处理的长足进步, 使得其勘探能力迅速提高。在当前攻深找盲、寻找大矿的需求下, 地球物理勘探不应将自己局限于具体矿床勘探的战术作用, 虽然这方面的勘探能力有了很大发展, 然而更重要的是地球物理勘探应该而且可能在找矿的宏观战略方面作出重大贡献。

关键词 地球物理方法, 隐伏矿床。

国民经济建设的迅速发展, 对矿物资源有着广泛的需求, 尤其是铜、金、银、铀等已成了当前紧缺矿产, 其紧迫状况, 可以用“等米下锅”来形容。解决此困扰的途径在于“攻深找盲, 寻找大矿”。但是, 到何处去, 又如何在地壳深部寻找大型与超大型金属矿床, 则是进一步要解决的重大课题。地球物理勘探应该而且可能在宏观与微观这两个层次上分别作出自己的贡献。

一、寻找金属矿床的历史脉络

20 世纪, 对金属矿床的找矿勘探活动经历了曲折复杂的道路。回顾这段历史, 可以清楚地看见, 其发展过程是由表及里, 由浅入深, 由小到大的。

国内外许多老矿山的开发都是由于矿石在地表的出露, 正如根据油苗来寻找油矿一样。在实践中积累起丰富经验的老矿工, 依靠这些地表线索追踪到相当一批金属矿床, 尽管其中多是浅层的小矿。这样, “就矿找矿”就成了金属矿勘探的一种理论, 一直延续到 20 世纪中叶。

地质学的发展, 逐步建立起矿物、岩石、地层、构造等分支学科, 形成地壳演化概念并根据地表矿化现象以及对矿床的剖析, 总结出多种地质成矿理论。大量找矿实践经验表明, 应该在认识区域地质背景的基础上, 研究成矿条件、矿化特征, 探索矿床类型和成矿模式及其分布规律。进而, 将金属矿床的勘查分为普查、详查和勘探阶段。新兴的地球物理与地球化学从 50 年代末期开始进入地质找矿活动, 分别从地壳结构和元素成分的不同侧面为金属矿床的勘查服务。

* 国家攀登计划 B85-34 项资助的课题。

本文 1995 年 3 月 15 日收到, 同年 6 月 15 日收到修改稿。

中国 9 600 000 km² 的大陆,有近 1/3 的地区为戈壁、沙漠、沼泽、植被等覆盖,很少进行勘查,其余 2/3 地区都经过多种比例尺的调查。有金属矿出露的地点,大多被开发利用。虽然也曾发现像白云鄂博、金川、德兴等大型、特大型矿床,但主要仍是浅层矿。因此,要想解决国民经济建设所需求的金属矿,尤其是铜、金、银、铀等紧缺矿床问题,必须将寻找隐伏的大型、超大型金属矿床作为主要勘探目标,重新思考勘查的思路和方法。

应该看到,最近 20 多年内,地球科学在理论、方法、技术上都有飞跃的发展。首先,岩石层板块大地构造(亦称全球构造)的出现,建立起以活动论为内涵的岩石层板块运动的基本模式,为认识金属矿床的形成条件和分布规律提供了理论基础;其次,地球物理与地球化学的进展,更为认识深部结构与物质成分提供了方法与技术。这样,应用综合地质、地球物理、地球化学进行宏观研究和微观分析,就有可能分层次地实现对隐伏大型矿床的预测,指导找矿勘探的实践。

二、地质学发展的启示

20 世纪初, Affred Wegener^[1] 提出大陆漂移说,活动论向固定论公开提出挑战,并遭到强烈而普遍的反对。第二次世界大战之后, H. H. Hess^[2] 提出海底扩张学说,根据地球物理对大洋底的观测资料,支持并发展了活动论的观点,并由此开展一系列国际合作,进行了广泛的验证活动。1969 年,当时在 Lamont-Doherty Geological Observatory 工作的一批青年地球物理学家总结全球范围内的地质、地球物理资料,在大陆漂移、海底扩张的基础上,论证了岩石层板块在演化过程中的大规模水平运动,发展为岩石层板块大地构造,即新全球构造说。

以活动论为内涵的岩石层板块大地构造,是 20 世纪内地球科学的一个大总结。完整而简练地对许多地质、地球物理、地球化学现象进行了概括和总结,并把构造作用和内生作用(地震、火山、岩浆等)联系起来,形成统一的动力模式。它首先明确岩石层板块是处于运动之中,其次简明地论述了离散的、聚敛的和转换的 3 种板块边界,进而勾绘出地壳演化的历史。岩石层板块的离散边界在大陆上表现为裂谷带,在大洋底表现出新海壳产生的洋脊裂谷。聚敛边界有拼合、碰撞、俯冲等多种形式,使地壳产生剧烈的形变以及断裂、岩浆等活动。其中拼合、碰撞形成褶皱造山带,而俯冲则以深海沟为特征,并有沟-弧-盆系。转换断层是板块沿此断层作相对滑动的边界,进而可以将全球岩石层划分为大板块(欧亚、北美、南美、太平洋、印度-澳大利亚、南极),中板块(纳斯卡、加勒比、菲律宾等)和小板块(土耳其、爱琴海、果尔达等)。它们之间的相对运动有如岩石层传送带,而将其动力来源归纳为内部地幔物质的作用。

这样,过去以固定论地槽说为基础的成矿预测工作,包括对矿床类型及其分布规律的认识,就需要在(新、古)全球构造发展的地球动力学模式中加以重新考虑,并在新的基础上重新建立成矿预测框架体系。

中国大陆是古老的,它和世界上其它大陆一样,都是以若干前寒武纪变质岩系组成的陆核(Continental nuclei)发展而成,但又有它的特殊性。华北块体(Block)的陆核大于 25 亿年,属于太古宙。它经过成核、成台、过渡和稳定等阶段,逐渐扩展,而成了相对稳

定的克拉通。同样,扬子、南华储块体也经历了相同的历程,但时序不同,它们的变质基底属于元古代。古生代期间,蒙古洋关闭,这些块体聚敛、先后碰撞、拼合在一起,形成了今日中国大陆的基本轮廓,以及块体边缘上的褶皱造山带、坳拉槽,并有断裂、岩浆等多种活动。印支期以后,在新全球构造阶段时,由于特提斯海的启闭和太平洋—菲律宾板块的俯冲,使中国大陆在中生代期间经受了挤压改造,而在晚燕山—早喜马拉雅期(K_2-E_3)出现板内拉张与板缘聚敛,和晚渐新世以来的(E_3-Q)板内沉降与板缘俯冲,以致中国大陆呈现西部挤压和东部拉张的大地构造背景,及东西分带、南北分块的构造格局^[3]。

在中国这种特殊的地质背景下,结合过去找矿勘探的经验,对于大型矿床的成矿环境,可以归纳成这样几点认识:

1. 大型矿床大多是隐伏的盲矿体,但它们又都赋存于特定的大地构造部位,与岩石层演化、构造、岩浆活动有内在的成因联系^[4]。

2. 大型矿床大多是多期段、多种成矿作用叠加改造的结果,应注意矿床与区域岩石、构造的时空演化关系。

3. 中国大陆有古老陆核,其固结早,成熟度高,矿源丰富。其边缘活动带有深大断裂、裂谷、坳拉槽和岩浆岩分布,应结合莫霍面、居里面、韧性剪切带及其拆离构造来探索成矿环境与成矿模式,以指导勘探实践。

为此,以岩石层板块大地构造理论为指导,深化对中国地质环境的具体分析,应是找矿勘探的基本思路,或解决这一难题的钥匙。

三、地球物理找矿作用

在地质找矿的实践中,多年经验积累已经认识到分层次进行搜索的必要,从而有普查、详查和勘探等阶段的划分。但是,地球物理方法始终隶属于战术性的技术应用地位,而不能充分发挥其勘查能力,特别是在宏观上提供区域性深部结构与性质的作用。

应该看到,地球物理方法技术在近十几年来的飞跃发展。重力勘探仪器的精度由毫伽(mGal)级提高到微伽(μGal)级;磁力勘探仪器由质子旋进式进步到光泵式,精度由 $\pm 1\text{nT}$ 提高到一个数量级以上;多种电法如MT,TEM,CSAMT等的应用,为解决找矿问题提供了广泛的可能;特别是航空重力、航空磁力、航空放射性、航空遥感和航空电磁法为大面积快速搜索展现出巨大的前景;而地震、电磁和电阻率的层析成像则成为查明岩体和发现矿床的强有力手段。地球物理方法技术的精益求精,日新月异,尤其是电子计算机的广泛应用,使其勘探能力极大地提高,过去许多认为无法解决的问题,现在都可以在高精度、高分辨率条件下迎刃而解。

应用地球物理方法技术取得的地球物理场,是岩石层中不同物性界面所产生的效应,蕴藏着构造、沉积等多方面的信息。重力场虽有多种表现形式,如空间重力异常、布格重力异常、均衡重力异常、卫星重力异常等,它仍是不同定义概念下处理观测重力数据的结果,也是岩石层内不同密度界面对重力所作贡献的综合反映。同样,磁异常主要给出中、上地壳中磁化率界面和磁性体作用,采取多种方法处理这些位场数据,区分深源场与浅源场,了解断裂展布,描述岩石层内部三维结构,包括莫霍面与居里面。但重力、磁力分别

是从一个物性侧面来认识地质体或地下结构。反射地震可以精细地描绘沉积盖层的结构,直至通过地震相的分析,识别沉积相,判断沉积环境,进而作出层序地层学解释。地震面波和体波可以通过纵、横波速度来了解地壳与上地幔的结构与不均匀性^[1]。反射地震与折射地震的联合能够详细确定岩石层中各个波阻抗界面或速度界面的起伏,其中包括莫霍面和韧性剪切带上的基底拆离面。对于各种地球物理场进行综合解释,并与地质资料结合起来,才能赋予所求得的各种物性界面以时间概念,或与构造、地层联系起来,取得近于全面的认识。

应该指出,地球物理方法本身存在一个严重的基本问题,即其反演问题的解答是不稳定的。尽管反演问题一直是地球物理研究的热门话题,但地球物理反演问题是非线性的,而非线性反演问题的求解途径还在探讨之中,现在仍难以预测实用化的时间。即便是线性反演迄今没有找出直接反演的方法,只能用间接反演方法,给出初始条件,进行逐步迭代,逼近解答。实践证明,利用其它方法给出的条件,如测井资料,进行约束反演,可以收到较好的效果。这就表明,地球物理的解释工作必须走地质与各种地球物理资料做综合研究的道路。

因此,在地球物理解释中,以岩石层板块大地构造为指导,应用电子计算机人机联作方法,对各种地球物理资料进行反演,努力使地球物理与地质结合,使正演问题与反演问题结合,使定性解释与定量解释结合,并对解释结果进行反复验证,将会对岩石层结构包括深、浅界面、断裂展布与岩浆活动,给出近于实际的答案,为找矿勘探提供宏观地质背景或局部地区的三维结构。

四、寻找隐伏矿床的地球物理方法

根据当前地球物理方法与技术的勘探能力,寻找隐伏大矿,可以进行三个层次的勘探活动,即全国战略性普查、区域战役性详查和矿区战术性勘探。

全国地球物理战略普查 可以在已经公布的全国性遥感图像、重磁异常图件的数字化基础上,进行延拓;求导和定量反演,求取莫霍、居里等深部界面,以及断裂体系、岩浆活动的有关资料。再以地学大断面(GGT)为骨架,对它们作出检验,编制相应的图件,深入认识全国大地构造格架及其演化历史。然后,将这些图件与全国矿产分布图、地质图以及地球化学资料结合起来进行复合比较,分析其成矿环境与成矿模式,作出1/100万—1/500万的宏观地球物理预测图。

区域地球物理战役详查 应在宏观地球物理预测指出的有利于形成隐伏大型矿床的地区,收集已有重、磁、电、震、遥感、地质、地化资料,填平补齐地开展相应的野外调查,进行1/20万—1/50万区域性综合研究,深化对地球物理场、深部结构、地球动力学过程与此地区所要寻找的矿床之间关系的认识,探索成矿规律,寻找区域找矿标志,作出此地区隐伏矿床的区域地球物理预测图。

矿区地球物理战术勘探 应根据区域预测或已知矿点,进行1/5万—1/10万,以至更大比例尺的高精度重磁、CSAMT、地震波层析成像,电阻率层析成像等高新技术方法,圈定隐伏矿体,提供钻探,并为地球物理预测作出验证。

这样,分三个层次充分发挥地球物理勘查深部结构的能力,进行地质、地球物理与地球化学综合研究,将深与浅,点与面,异常与矿床,矿床与成因联系起来,在构造演化中认识矿床,确定其时空位置,使找矿勘探走上一条合理的道路,获得多、快、好、省的效益。

参 考 文 献

- [1] 金性春,板块构造学基础,上海:上海科学技术出版社,1984.
- [2] Hess, H. H., History of ocean basins petrologic studies, *Geol. Soc. Amer.*, **73**, 599—620, 1962.
- [3] 朱 夏,陈焕疆,中国大陆边缘和盆地演化,石油地质实验,4(3),1—10,1982.
- [4] 刘光鼎主编,中国海区及邻域地质-地球物理系列图(1:500万说明书),北京:地质出版社,1989.
- [5] 宋仲和、安昌强、陈立华,中国大陆和边缘海的上地幔P波速度结构,见:中国海区及邻域地质地球物理特征,北京:科学出版社,166—179,1992.

SEARCHING OF HIDDEN MINERAL DEPOSITS BY GEOPHYSICAL METHODS

LIU GUANG-DING HAO TIAN-YAO

Abstract

The important function of geophysical exploration is gradually revealed in the developing process of searching for ore deposite. The ability of Geophysical exploration is rapidly improved. As the geological recognition is continuously deepening, especially for the methods, instruments and data processing of geophysical exploration are making great strides in progress. Now under the requirement of attacking deep layer and finding blind ore for searching large and super large mineral deposite, geophysical exploration should not limit itself in prospecting for concrete deposite, then the prospecting ability should also have very large development. The most important role is that geophysical exploration ought to and able to make major contribution in macroscopic and strategic area of searching mineral deposite.

Key words Geophysical methods, Blind ore.

作者简介 刘光鼎,男,1929年12月生,1952年北京大学物理系毕业。长期从事地球物理勘探、大地构造、石油地质、海洋地质研究,发表论文 60 余篇。现任中国地球物理学会理事长,中国科学院院士,第三世界科学院院士。